

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-103861

(P2004-103861A)

(43) 公開日 平成16年4月2日(2004. 4. 2)

(51) Int. Cl. 7

F 1

テーマコード (参考)

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10

Z

5 F 0 7 2

H 0 4 B 10/16

H 0 4 B 9/00

J

5 K 1 0 2

H 0 4 B 10/17

H 0 4 B 9/00

E

H 0 4 J 14/00

H 0 4 J 14/02

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号

特願2002-264261 (P2002-264261)

(22) 出願日

平成14年9月10日(2002. 9. 10)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(74) 代理人 100070150

弁理士 伊東 忠彦

(72) 発明者 碓井 薫

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 島野 善雄

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 飯塚 博

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

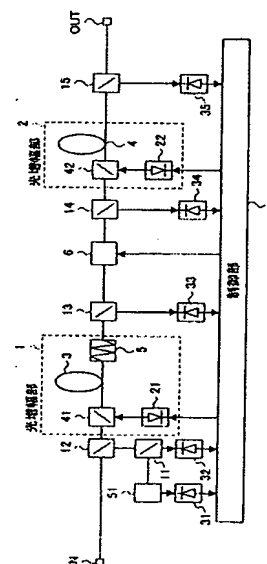
(54) 【発明の名称】 光増幅装置

(57) 【要約】

【課題】 信号光の変動に基づいて、波長数変動又は信号光の利得傾斜を検出して、出力レベルを制御する光増幅装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 光増幅装置における入力側、中間段又は出力側に、測定点を設け、該測定点における特定波長を測定する特定波長測定手段31と、該測定点における全光量を測定する全光量測定手段32とを有し、特定波長測定手段31で測定した出力に変動が無く、全光量測定手段32で測定した出力に変動が発生した場合、特定波長測定手段31で測定した出力と全光量測定手段32で測定した出力に基づいて、受信した波長多重光信号の波長多重数の変動を検出する。

本発明の第1の実施の形態を説明するための図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

波長多重光信号の光増幅装置において、
当該光増幅装置内に、光量を測定する測定点を設け、
該測定点における特定波長を測定する特定波長測定手段
と、該測定点における全光量を測定する全光量測定手段
と、当該光増幅装置の出力を制御する出力制御手段とを
有し、

前記特定波長測定手段で測定した出力と前記全光量測定
手段で測定した出力とに基づいて、前記出力制御手段が
当該光増幅装置の出力を制御することを特徴とする光増
幅装置。

【請求項 2】

前記特定波長測定手段は、波長可変光フィルタを有する
ことを特徴とする請求項 1 記載の光増幅装置。

【請求項 3】

当該光増幅装置における入力側、中間段又は出力側に、
前記測定点を設け、
前記特定波長測定手段で測定した出力に変動が無く、前
記全光量測定手段で測定した出力に変動が発生した場
合、

前記特定波長測定手段で測定した出力と前記全光量測定
手段で測定した出力とに基づいて、受信した波長多重光
信号の波長多重数を検出することを特徴とする請求項 1
又は 2 記載の光増幅装置。

【請求項 4】

前記特定波長測定手段における出力の変動と前記全光量
測定手段における出力の変動とが同じ量だけ変動し場
合、前記特定波長測定手段で測定した出力又は前記全光
量測定手段で測定した出力に基づいて、光伝送路におけ
る減衰量の変動を補償するように、前記出力制御手段が
当該光増幅装置の出力を制御することを特徴とする請求
項 1 ないし 3 いずれか一項記載の光増幅装置。

【請求項 5】

当該光増幅装置における出力側に、測定点を設け、
波長多重数データ並びに前記特定波長測定手段で測定し
た出力及び前記全光量測定手段で測定した出力に基づい
て、光出力信号の利得傾斜を補償するように、前記出力
制御手段が当該光増幅装置の出力を制御することを特徴
とする請求項 1 又は 2 記載の光増幅装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光増幅装置に係り、特に、特定波長を測定す
る特定波長測定手段と、全光量を測定する全光量測定手
段と、当該光増幅装置の出力を制御する出力制御手段と
を有する波長多重光信号の光増幅装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

現在、波長の異なる複数の光信号を一つの光伝送路で伝

送することにより、伝送容量を増大させる波長多重方式
が普及している。

【0003】

この波長多重伝送方式についての実際の運用は、任意の
波長数及び任意の距離で行われる。従って、色々な波長
及び距離の運用に対応するために、実際の波長多重伝送
方式において、柔軟な対応が求められている。

【0004】

このため、波長多重伝送方式に用いられる波長多重光増
幅装置は、一般的に、光増幅装置内に設置された光モニ
タで獲得したデータと、予め設定された情報（利得設
定、波長数、出力レベル）等に基づいて、光増幅装置に
おける 1 波長当たりの出力が一定になるよう光増幅装置
の励起光源及び光減衰器を制御している。

【0005】

図 1 に従来の光増幅装置の例を示す。図 1 の光増幅装置
は、光増幅部 1、2、EDFA (Erbium-doped Fiber Amplifier) 3、4、利得
等化器 5、可変光減衰器 6、制御部 7、分光光器 12～
15、EDFA の励起光源であるレーザダイオード 2
1、22、光モニタであるフォトダイオード 32～3
5、波長合波器 41、42 から構成されている。

【0006】

図 2 に示すような光伝送路を通過した全光入力（波長 λ
1～波長 λ_n 、その大きさ X_{in} ）が、波長多重光信号
が光信号入力端子 IN に供給される。光信号入力端子か
ら入力された信号光の一部は、分光光器（光カプラ） 1
2 で主信号から分岐され、フォトダイオード 32 で電気
信号に変換される。フォトダイオード 32 の出力は、図
3 に示すような光信号入力端子から入力された信号光
（波長 λ 1～波長 λ_n 、その大きさ X_{in} ）のトータル
パワー（ $=X_{in} + 10 \times \log(n)$ ）である。同様に、
フォトダイオード 33～35 から、出力される大き
さは、信号光（波長 λ 1～波長 λ_n ）のトータルパワー
である。

【0007】

図 1 の光増幅装置の制御部 7 は、フォトダイオード 32
～35 で検出された信号光（波長 λ 1～波長 λ_n ）のト
ータルパワーに基づいて、各部の光レベルを制御する。
これにより、図 1 の光増幅装置の光信号出力端子 OUT
から目的の光出力を得る。

【0008】

図 1 の光増幅装置の制御部 7 は、次のように自動レベル
制御（ALC）を行う（図 4 参照）。

①フォトダイオード 33 の出力 PPD_{33} とフォトダイ
オード 32 の出力 PPD_{32} の差が一定になるように、
レーザダイオード（励起光源） 21 を制御する。

【0009】

つまり、 $PPD_{33} - PPD_{32} = A$ （一定）・・・

・・（1）

②フォトダイオード35の出力 P_{PD35} とフォトダイオード34の出力 P_{PD34} の差が一定になるように、レーザダイオード(励起光源)22を制御する。

【0010】

つまり、 $P_{PD35} - P_{PD34} = B$ (一定)
 . . (2)

なお、光増幅部1又は光増幅部2が、所定の増幅度A又はBを得ることができない場合は、他方の光増幅部2又は光増幅部1の増幅度を上げて、 $A+B$ が、一定になるように、制御する。

③出力端子OUTから出力されるパワーが目標出力レベルになるように、可変光減衰器6を制御し、光信号出力端子OUTから、波長数に応じた出力レベルを得ている。これにより、1波長当たりの出力レベルを一定に制御している。

【0011】

図1の光増幅装置の制御部7が、波長数に応じた出力レベルとなるように制御しないと、図5に示すような問題が生じる。

【0012】

図5(A)は、波長数が2波の場合である。この場合、各波長(λ_1 、 λ_2)の出力は、それぞれ、 X_{in} であるとする。このような状態において、波長 λ_2 の光源の突発的故障した場合を考える。本来、光増幅装置において、増幅する波長数が2波から1波と、半減したのであるから、光増幅装置から出力されるレベルも半減すべきところであるにも拘わらず、制御部7において、入力している波長数が1つになったことを知らないと、図5

(B)に示すように、波長 λ_2 による出力レベルの落ち込みを、波長 λ_1 で補ってしまい、1波長当たりの出力レベルが一定とならない。

【0013】

そこで、このような大容量、長距離伝送方式では使用される光増幅装置では、制御に用いるための設定情報(波長数、出力レベル等)が、光増幅装置の上位光伝送装置から、光増幅装置の下位光伝送装置に送られる。

【0014】

下位光伝送装置の光増幅装置の制御部7は、受信した設定情報に基づいて、光増幅装置の光出力が、波長数に対応したレベルになるよう制御する。

【0015】

また、従来の光増幅装置では、利得傾斜度の平坦度をを得るために、

$P_{PD33} - P_{PD32} = A$ (dB) (一定)
 . . (1)

$P_{PD35} - P_{PD34} = B$ (dB) (一定)
 . . (2)

かつ、利得傾斜が平坦となるように、製造途中の調整段階で、光増幅装置毎に、光部品データのバラツキを吸収するために個別に調整されている。

【0016】

また、本発明に関連する技術として、光ファイバ伝送路損失の変化などによる光増幅器の波長間利得偏差の発生を抑制する技術が、後述の特許文献1に示されている。特許文献1には、参照光の受信強度に基づき光増幅器の動作を、当該光増幅装置に内蔵された制御手段によって制御する技術が開示されている。

【0017】

また、複数波長の光信号を多重化して伝送する波長多重光伝送システムの光増幅装置に関し、チャンネル数の変更による非線形特性の劣化やS/Nの劣化を抑制可能とする技術が、後述の特許文献2に示されている。特許文献2には、希土類ドープ光ファイバーと励起レーザダイオードと自動光利得制御回路とを含む第一の部分と、光減衰器64と自動レベル制御回路とを含む第二の部分と、監視信号処理回路70とを含む光増幅装置において、チャンネル数変更前は、チャンネル数に対応したレベルの波長多重光信号を増幅出力するように制御し、チャンネル数変更の通告時は、光減衰器の光透過率等を一時的に固定し、利得一定としてチャンネル数に対応した出力光信号レベルとし、チャンネル数変更完了時は、光減衰器の光透過率の制御開始等によるチャンネル数対応のレベル一定制御とする技術が開示されている。

【特許文献1】

特開2000-312046号公報

【特許文献2】

特開2000-196169号公報

【0018】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上位光伝送装置から設定情報(波長数、出力レベル等)を受信する下位光伝送装置の光増幅装置は、予期していない波長の減設(例えば、1つの光源の突発的故障)が生じた場合、上位光伝送装置が波長数の変化を判別した後、下位光伝送装置の光増幅装置に波長増減情報が送信されるため、実際の波長数と光増幅装置が認識する波長数とが異なる時間帯(数百msec~数sec程度)が生じる。

【0019】

この数百msec~数sec程度の波長数情報の認識のズレを吸収するために、従来の光増幅装置では、次のような制御を行っている。

光減衰器の動作に数百msec~数sec程度の不感時間を設ける。これにより、光減衰器の動作が、数百msec~数sec程度の遅延をもって、制御されるので、光源の突発的故障が生じ、光源の数の変更情報が数百msec~数sec後に、光増幅装置に届いたとしても、その間には、制御が行われていないので、波長数情報の認識のズレに基づく、誤動作を防止することができる。各モニタのサンプル値を数secだけ保持させる。これにより、光減衰器の動作が、数secの遅延をもって、

制御されるので、①と同様に、波長数情報の認識のズレに基づく、誤動作を防止することができる。

【0020】

しかしながら、波長数情報が上位光伝送装置から光増幅装置に届くまでの時間は、上位光伝送装置の波長数認識・判別性能に依存しているため、上位光伝送装置毎に異なる。そのため、光増幅装置における上記不感時間又は保持時間を、実際に使用される上位光伝送装置毎に設定して最適化する必要があるという問題がある。

【0021】

また、波長多重光増幅装置において平坦な利得を保つためには、光増幅装置の光増幅部の利得を利得傾斜に応じて変化させなければならない。しかし、従来の波長多重光増幅装置における光増幅部の利得設定は、光増幅装置の製造段階での試験条件（例えば、MAX波長数）で個別に調整されている。従って、光増幅装置の実運用時の波長数が、光増幅装置の製造段階での試験条件（例えば、MAX波長数）と異なる場合は、充分平坦な利得傾斜度を得ることができないという問題がある。例えば、図6に示すように、光増幅装置の製造段階で、maxの波長数で調整されている場合、運用は、maxの以下の波長数（例えば、波長数が7）で行われる場合が多く、図7に示すように、利得傾斜を有するようになる。

【0022】

また、特開2000-312046号公報に記載された発明は、参照光は、主信号とは異なる波長に限定されているという問題がある。さらに、特開2000-312046号公報に記載された発明は、波長数を特定できないという問題がある。

【0023】

特開2000-196169号公報に記載された発明は、波長変更時に、光減衰器を一次的に固定し、波長数変更後に光減衰器の制御を開始するものであり、上記①、②の問題を有するものである。

【0024】

本発明は、上記問題に鑑みなされたものであり、信号光の変動に基づいて、波長数変動又は信号光の利得傾斜を検出して、出力レベルを制御する光増幅装置を提供することを目的とする。

【0025】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本件発明は、以下の特徴を有する課題を解決するための手段を採用している。

【0026】

請求項1に記載された発明は、波長多重光信号の光増幅装置において、当該光増幅装置内に、光量を測定する測定点を設け、該測定点における特定波長を測定する特定波長測定手段と、該測定点における全光量を測定する全光量測定手段と、当該光増幅装置の出力を制御する出力制御手段とを有し、前記特定波長測定手段で測定した出

力と前記全光量測定手段で測定した出力とに基づいて、前記出力制御手段が当該光増幅装置の出力を制御することを特徴とする光増幅装置である。

【0027】

請求項1に記載された発明によれば、光増幅装置内に、光量を測定する測定点を設け、該測定点における特定波長を測定する特定波長測定手段と、該測定点における全光量を測定する全光量測定手段と、当該光増幅装置の出力を制御する出力制御手段とを有し、特定波長測定手段で測定した出力と全光量測定手段で測定した出力に基づいて、出力レベル制御手段が当該光増幅装置の出力を制御することにより、信号光の変動に基づいて、波長数変動又は信号光の利得傾斜を検出して、出力レベルを制御する光増幅装置を提供することができる。

【0028】

請求項2に記載された発明は、請求項1記載の光増幅装置において、前記特定波長測定手段は、波長可変光フィルタを有することを特徴とする。

【0029】

請求項2に記載された発明によれば、特定波長測定手段は、波長可変光フィルタを有することにより、検出している特定波長が断（故障）した場合、他の波長に切り替えモニタすることにより、制御部は、継続して、適正な制御を行うことができる。

【0030】

請求項3に記載された発明は、請求項1又は2記載の光増幅装置において、当該光増幅装置における入力側、中間段又は出力側に、前記測定点を設け、前記特定波長測定手段で測定した出力に変動が無く、前記全光量測定手段で測定した出力に変動が発生した場合、前記特定波長測定手段で測定した出力と前記全光量測定手段で測定した出力とに基づいて、受信した波長多重光信号の波長多重数を検出することを特徴とする。

【0031】

請求項3に記載された発明によれば、特定波長測定手段で測定した出力に変動が無く、全光量測定手段で測定した出力に変動が発生した場合、特定波長測定手段で測定した出力と全光量測定手段で測定した出力とに基づいて、受信した波長多重光信号の波長多重数の変動を検出することができる。

【0032】

また、これにより、光増幅装置の上位監視装置からの波長数増減設情報を待つことなく、光増幅装置で、現時点の波長数を特定できる。その結果、光増幅装置における不感時間又は保持時間を設定する必要がなく、使用される上位光伝送装置に応じて不感時間又は保持時間を最適化する必要性も無くなる。

また、光増幅装置で波長数を特定できるので、光出力も光増幅装置の上位監視装置から送られてくる波長数情報を待つことなく、光出力の目標値になるよう出力を制御

することが可能となる。これにより、増減した波長数に対応して、高速に光出力のレベルの制御を行うことができる。

【0033】

請求項 4 に記載された発明は、請求項 1 ないし 3 いずれか一項記載の光増幅装置において、前記特定波長測定手段における出力の変動と前記全光量測定手段における出力の変動とが同じ量だけ変動した場合、前記特定波長測定手段で測定した出力又は前記全光量測定手段で測定した出力に基づいて、光伝送路における減衰量の変動を補償するように、前記出力制御手段が当該光増幅装置の出力を制御することを特徴とする。

【0034】

請求項 4 に記載された発明によれば、特定波長測定手段における出力の変動と全光量測定手段における出力の変動とが同じ量だけ変動した場合、特定波長測定手段で測定した出力又は全光量測定手段で測定した出力に基づいて、光伝送路における減衰量の変動を補償するように、出力制御手段が当該光増幅装置の出力を制御することができる。

【0035】

請求項 5 に記載された発明は、請求項 1 又は 2 記載の光増幅装置において、当該光増幅装置における出力側に、測定点を設け、波長多重数データ並びに前記特定波長測定手段で測定した出力及び前記全光量測定手段で測定した出力に基づいて、光出力信号の利得傾斜を補償するように、前記出力制御手段が当該光増幅装置の出力を制御することを特徴とする。

【0036】

請求項 5 に記載された発明によれば、当該光増幅装置における出力側に、測定点を設け、波長多重数データ並びに前記特定波長測定手段で測定した出力及び前記全光量測定手段で測定した出力に基づいて、光出力信号の利得傾斜を補償するように、前記出力制御手段が当該光増幅装置の出力を制御することができる。

【0037】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施の形態について図面と共に説明する。第 8 図は、本実施の形態の光増幅装置を示す。

（第 1 の実施の形態）

図 8 を用いて、本発明の第 1 の実施の形態を説明する。図 8 の光増幅装置は、光増幅部 1、2、可変光減衰器 6、制御部 7、光分光器 11～15、フォトダイオード 31～35 及び特定波長を通過させる固定光フィルタ 51 から構成されている。なお、光増幅部 1 は、励起光源であるレーザダイオード 21、波長合波器 41、EDFA 3 及び利得等化器 5 を有している。また、光増幅部 2 は、励起光源であるレーザダイオード 22、波長合波器 42 及び EDFA 4 を有している。

【0038】

光伝送路を通過した全光入力（波長 λ_1 ～波長 λ_n 、その大きさを X_{in} ）が、波長多重光信号が光信号入力端子 IN に供給される。光信号入力端子 IN から入力された信号光は、光増幅部 1 で増幅され、可変光減衰器 6 で所定のレベルに制御され、光増幅部 2 で増幅されて、光信号出力端子 OUT から所定レベルの波長多重光信号が出力される。

【0039】

フォトダイオード 31 からは、特定波長を通過させる固定光フィルタ 51 を通過した波長の光信号のレベル（ P_{PD31} ）が出力される。また、フォトダイオード 32 からは、光増幅部 1 で増幅される前の信号光（波長 λ_1 ～波長 λ_n ）のトータルパワー（ P_{PD32} ）が出力される。同様に、フォトダイオード 33 からは、光増幅部 1 で増幅された後の信号光（波長 λ_1 ～波長 λ_n ）のトータルパワー（ P_{PD33} ）が出力され、フォトダイオード 34 からは、光増幅部 2 で増幅される前の信号光（波長 λ_1 ～波長 λ_n ）のトータルパワー（ P_{PD34} ）が出力され、フォトダイオード 35 からは、光増幅部 2 で増幅された後の信号光（波長 λ_1 ～波長 λ_n ）のトータルパワー（ P_{PD35} ）が出力される。

① 光増幅装置の制御部 7 は、フォトダイオード 33 の出力 P_{PD33} とフォトダイオード 32 の出力 P_{PD32} の差が一定になるように、レーザダイオード（励起光源）21 を制御する。

$$P_{PD33} - P_{PD32} = D \text{ (dB)} \text{ (一定)} \dots \dots \dots (3)$$

② 光増幅装置の制御部 7 は、フォトダイオード 35 の出力 P_{PD35} とフォトダイオード 34 の出力 P_{PD34} の差が一定になるように、レーザダイオード（励起光源）22 を制御する。

【0040】

$$P_{PD35} - P_{PD34} = E \text{ (dB)} \text{ (一定)} \dots \dots \dots (4)$$

③ 光増幅装置の制御部 7 は、光増幅部 1 又は光増幅部 2 が、所定の増幅度 D 又は E を得ることができない場合は、他方の光増幅部 2 又は光増幅部 1 の増幅度を上げて、

$$D + E = \text{一定} \dots \dots \dots (5)$$

になるように制御する。

④ 光増幅装置の制御部 7 は、出力端子 OUT から出力されるパワー（ P_{PD35} ）が目標出力レベルになるように、可変光減衰器 6 を制御する。

【0041】

ここで、光信号入力端子 IN から入力された光入力量を、 $a \text{ (dBm/ch)}$ 、光信号出力端子 OUT から出力される光出力量を、 $b \text{ (dBm/ch)}$ 、波長数を n とすると、フォトダイオード 31 で得られる光モニタ値（ P_{PD31} ）と、フォトダイオード 32 で得られる光

9

モニタ値 (P_{PD32}) 及びフォトダイオード35で得られる光モニタ値 (P_{PD35}) は

$$P_{PD31} = a \text{ (dBm/ch)} \quad \dots (6)$$

$$P_{PD32} = a + 10 \times \log (n) \text{ (dBm)} \quad [\text{トータルパワー}] \quad \dots (7)$$

$$P_{PD35} = b + 10 \times \log (n) \text{ (dBm)} \quad [\text{トータルパワー}] \quad \dots (8)$$

となる。

【0042】

ここで、光信号入力端子INに接続されている伝送路のロスが、 $\pm x$ (dB)と変動した場合、フォトダイオード31で得られる光モニタ値 (P_{PD31}) 及びフォトダイオード32で得られる光モニタ値 (P_{PD32}) は、それぞれ、

$$P_{PD31} = a \pm x \text{ (dBm/ch)} \quad \dots (9)$$

$$P_{PD32} = a + 10 \times \log (n) \pm x \text{ (dBm)} \quad [\text{トータルパワー}] \quad \dots (10)$$

となる。ここで、フォトダイオード31で得られる光モニタ値 (P_{PD31}) 及びフォトダイオード32で得られる光モニタ値 (P_{PD32}) の変動量を、それぞれ、 $\Delta x 1$ 及び $\Delta x 2$ とすると、 $\Delta x 1$ 及び $\Delta x 2$ は、式 (6)、(7)、(9) 及び (10) より、

$$\Delta x 1 = \pm x \quad \dots (11)$$

$$\Delta x 2 = \pm x \quad \dots (12)$$

となり、 $\Delta x 1$ と $\Delta x 2$ とは等しい。

【0043】

一方、波長数が、 n 波から $n \pm m$ 波への変化があった場合、フォトダイオード31で得られる光モニタ値 (P_{PD31}) 及びフォトダイオード32で得られる光モニタ値 (P_{PD32}) は、それぞれ、

$$P_{PD31} = a \text{ (dBm/ch)} \quad \dots$$

$$\dots (13)$$

$$P_{PD32} = a + 10 \times \log (n \pm m) \quad [\text{トータルパワー}] \quad \dots (14)$$

となり、フォトダイオード31で得られる光モニタ値 (P_{PD31}) は変化しない ($\Delta x 1 = 0$) が、フォトダイオード32で得られる光モニタ値 (P_{PD32}) の $\Delta x 2$ は、 $\Delta x 2 = 10 \times \log [(n \pm m) / n] \dots (15)$

10 となる。

【0044】

よって、フォトダイオード31で得られる光モニタ値 (P_{PD31}) の変動 $\Delta x 1$ とフォトダイオード32で得られる光モニタ値 (P_{PD32}) の変動 $\Delta x 2$ を比較することにより、光入力信号のレベル変動があった場合、その原因が、伝送路ロスの変動によるものか、波長数の増減によるものかの特定ができる。

【0045】

つまり、フォトダイオード31で得られる光モニタ値 (P_{PD31}) の出力と、フォトダイオード32で得られる光モニタ値 (P_{PD32}) の出力とが同じ量だけ変動した場合、伝送路ロスの変動によるものと判断することができる。

また、フォトダイオード31で得られる光モニタ値 (P_{PD31}) の出力変動が無く、フォトダイオード32で得られる光モニタ値 (P_{PD32}) の出力変動が発生した場合、波長数の増減によるものと判断することができる。

【0046】

このとき、 n は既知であるので、式 (15) から、増減した波長数 m を次式により求めることができる。

【0047】

【数1】

$$m = \pm n \times (10^{\Delta x 2 / 10} - 1) \quad \dots (16)$$

これにより、光増幅装置の上位監視装置からの波長数増減設情報を持つことなく、光増幅装置で、現時点の波長数を特定できる。その結果、光増幅装置における不感時間又は保持時間を設定する必要がなく、使用される上位光伝送装置に応じて不感時間又は保持時間を最適化する必要性も無くなる。

【0048】

また、光増幅装置で波長数を特定できるので、光出力も光増幅装置の上位監視装置から送られてくる波長数情報

を待つことなく、光出力の目標値を

$$b + 10 \times \log (n) + 10 \times \log [(n \pm m) / n] \text{ (dBm)} \quad \dots (17)$$

となるように、光減衰器6の減衰量を制御することが可能となる。これにより、増減した波長数 m に対応して、高速に光出力のレベルの制御を行うことができる。

【0049】

図9に、光増幅装置の制御部7における増減した波長数 m の算出の処理フローを示す。

【0050】

まず、フォトダイオード31及びフォトダイオード32で、光量を検出する(S2)。次いで、フォトダイオード31及びフォトダイオード32で検出した光量の変動量 $\Delta x1$ 及び $\Delta x2$ を算出する(S3)。

【0051】

$\Delta x1$ と $\Delta x2$ とを比較する(S4)。 $\Delta x1 = \Delta x2$ の場合は、伝送路ロスの変動であるので、S2に戻る。 $\Delta x1 \neq \Delta x2$ の場合は、式(16)から、増減した波長数を求める(S5)。

【0052】

このように、光増幅装置自体で波長数を特定することができるので、図8の光増幅装置は、光出力一定制御に数百msecの不感時間又は保持時間を設ける必要がないので、高速な制御を行うことが可能となる。

【0053】

また、瞬時に波長数の変動を検出し、それに基づいて制御することにより、より安定な光出力制御を行うことが可能となる。

(第2の実施の形態)

図10を用いて、本発明の第2の実施の形態を説明する。図10の光増幅装置は、光増幅部1、2、可変光減衰器6、制御部7、光分光器12~16、フォトダイオード32~36及び特定波長を通過させる固定光フィルタ52から構成されている。なお、光増幅部1は、励起光源であるレーザダイオード21、波長合波器41、EDFA3及び利得等化器5を有している。また、光増幅部2は、励起光源であるレーザダイオード22、波長合波器42及びEDFA4を有している。

【0054】

図10は、図8から光分光器11、特定波長を通過させる固定光フィルタ51及びフォトダイオード31を削除し、新たに、光増幅装置の出力側に、光分光器16、特定波長を通過させる固定光フィルタ52及びフォトダイオード36を追加したものである。

【0055】

光伝送路を通過した全光入力(波長 $\lambda1 \sim \lambda n$ 、その大きさ X_{in})が、波長多重光信号が光信号入力端子INに供給される。光信号入力端子INから入力された信号光は、光増幅部1で増幅され、可変光減衰器6で所定のレベルに制御され、光増幅部2で増幅されて、光信号出力端子OUTから所定レベルの波長多重光信号が出力される。

【0056】

フォトダイオード32からは、光増幅部1で増幅される前の信号光(波長 $\lambda1 \sim \lambda n$)のトータルパワー(P_{PD32})が出力される。同様に、フォトダイオード33からは、光増幅部1で増幅された後の信号光(波長 $\lambda1 \sim \lambda n$)のトータルパワー(P_{PD33})が出力され、フォトダイオード34からは、光増幅部2で

増幅される前の信号光(波長 $\lambda1 \sim \lambda n$)のトータルパワー(P_{PD34})が出力され、フォトダイオード35からは、光増幅部2で増幅された後の信号光(波長 $\lambda1 \sim \lambda n$)のトータルパワー(P_{PD35})が出力される。また、フォトダイオード36からは、特定波長を通過させる固定光フィルタ52を通過した波長の光信号のレベル(P_{PD36})が出力される。

①光増幅装置の制御部7は、フォトダイオード33の出力 P_{PD33} とフォトダイオード32の出力 P_{PD32}

10 の差が一定になるように、レーザダイオード(励起光源)21を制御する。

$$P_{PD33} - P_{PD32} = D \text{ (dB)} \quad (\text{一定}) \dots \dots \dots (3)$$

②光増幅装置の制御部7は、フォトダイオード35の出力 P_{PD35} とフォトダイオード34の出力 P_{PD34} の差が一定になるように、レーザダイオード(励起光源)22を制御する。

【0057】

$$P_{PD35} - P_{PD34} = E \text{ (dB)} \quad (\text{一定}) \dots \dots \dots (4)$$

20 ③ 光増幅装置の制御部7は、光増幅部1又は光増幅部2が、所定の増幅度D又はEを得ることができない場合は、他方の光増幅部2又は光増幅部1の増幅度を上げて、

$$D + E = \text{一定} \dots \dots \dots (5)$$

になるように制御する。

④光増幅装置の制御部7は、出力端子OUTから出力されるパワー(P_{PD35})が目標出力レベルになるように、可変光減衰器6を制御する。

30 【0058】

次に、制御部7が、励起光源であるレーザダイオード22及び励起光源であるレーザダイオード22を制御して、光増幅部1及び光増幅部2の増幅度を制御し、充分に平坦な利得傾斜度を得るための制御について説明する。

【0059】

光増幅装置で増幅する波長数を n とし、ASE (Accumulated Spontaneous emission) 光等の雑音パワーをASEとすると、平坦な利得傾斜度を得るためには、次式を満たす必要がある。

【0060】

$$((P_{PD35} - ASE) / n) / P_{PD36} = \text{一定} \dots \dots (18)$$

この式における($P_{PD35} - ASE$)は、信号成分のパワーであり、($P_{PD35} - ASE$) / n は、1波当たりの信号成分のパワーである。式(18)は、この1波当たりの信号成分のパワーと P_{PD36} との比が一定であることを示している。 P_{PD36} は、任意に選択された波長のパワーであるので、任意に選択された波長の

パワーが、 n 波の平均パワーと一定の比の関係にあることは、平坦な利得傾斜度であることを示している。なお、ASEとして、別に実験で求めた、値を用いる。

【0061】

式(18)の条件から外れた場合は、利得傾斜度が平坦でなくなっているため、制御部7は、 $(P_{PD35} - ASE) / n$ を算出し、特定波長を通過させる固定光フィルタ52を通過した波長の光信号のレベル P_{PD36} との比が所定の値になるように、励起光源であるレーザダイオード21及び励起光源であるレーザダイオード22制御する。

【0062】

また、制御部7は、1波当たりの出力を補償するために、1波当たりの信号成分のパワーである $(P_{PD35} - ASE) / n$ を、所定の値に保つように、可変光減衰器6を制御する。

【0063】

図11及び図12を用いて、光増幅装置の制御部7における利得傾斜度を平坦にする処理フローを説明する。

【0064】

図12に示すように、フォトダイオード(受光器)32~34、フォトダイオード35、フォトダイオード36で受光した光信号を電流変換後、抵抗 $R2 \sim 4$ 、 $R5$ 、 $R6$ により、電圧に変換する。電圧に変換された信号は、増幅器(Amp)2~4、Amp5、Amp6で増幅され、次いで、アナログ・デジタル変換器(ADC)2~4、ADC5、ADC6でデジタル信号に変換されて制御部7に供給される。このように、制御部7には、各受光器で得た信号が入力される。

【0065】

制御部7は、初期動作として、下記1~3の処理を行う。

Amp4、Amp5、Amp6の電気信号のレベルを検出する(S12)。

次に、Amp4、Amp5の電気信号比が、設定された比になるように、光増幅部2の励起光源であるレーザダイオード22を駆動し、利得を調整する(S13、S14)。

次に、Amp6の電気信号レベルが設定された値になるように、可変光減衰器6を制御する(S15、S16)。

【0066】

上記1~3の処理を終了して、制御部7は、利得傾斜度及び1波当たりの出力の補償するために、次の処理を行う。

Amp5及びAmp6の電気信号レベルを検出する(S17)。

次に、Amp6の電気信号レベルが設定された値になるように、可変光減衰器6を制御する(S19、S20)。

次に、式(18)を満たすように、光増幅部1の励起光源であるレーザダイオード21及び光増幅部2の励起光源であるレーザダイオード22を制御する(S21、S22)。

【0067】

処理終了命令(又は入力断検出等)を検出した場合は、処理を終了する(S18、S33)。

(第3の実施の形態)

本発明の第3の実施の形態を、図13に示す。

【0068】

図13は、図8における特定波長を通過させる固定光フィルタ51を、特定波長を通過させる可変光フィルタ61に換え、可変光フィルタ61を制御する駆動回路71を追加したものである。これにより、特定波長を任意に選択することができる。

【0069】

基本的動作は、第1の実施の形態と同一であるが、フォトダイオード31で検出している波長が断(故障)した場合、第1の実施の形態では、制御部7は適正な制御を行うことができなくなるが、第3の実施の形態では、駆動回路71を制御して、他の波長に切り替えモニタすることにより、制御部7は、継続して、適正な制御を行うことができる。

(第4の実施の形態)

本発明の第4の実施の形態を、図14に示す。

【0070】

図14は、図10における特定波長を通過させる固定光フィルタ52を、特定波長を通過させる可変光フィルタ62に換え、可変光フィルタ62を制御する駆動回路72を追加したものである。これにより、特定波長を任意に選択することができる。

【0071】

基本的動作は、第2の実施の形態と同一であるが、フォトダイオード36で検出している波長が断(故障)した場合、第2の実施の形態では、制御部7は適正な制御を行うことができなくなるが、第4の実施の形態では、駆動回路72を制御して、他の波長に切り替えモニタすることにより、制御部7は、継続して、適正な制御を行うことができる。

(第5の実施の形態)

本発明の第5の実施の形態を、図15に示す。

【0072】

第5の実施の形態は、第1の実施の形態と第2の実施の形態を組み合わせたものである。第2の実施の形態における式(18)で、波長数を用いているが、この波長数を第1の実施の形態により、瞬時により求めるものである。

【0073】

これにより、予期されない、波長数の増減設に対応しても、的確に、十分な1波当たりの出力及び平坦な利得傾

斜を得ることができる。

(第6の実施の形態)

本発明の第6の実施の形態を、図16に示す。

【0074】

第6の実施の形態は、第3の実施の形態と第4の実施の形態を組み合わせたものであり、図15における特定波長を通過させる固定光フィルタ51、52を、特定波長を通過させる可変光フィルタ61、62に換え、可変光フィルタ61、62を制御する駆動回路71、72を追加したものである。これにより、入力側と出力側に設けた特定波長を任意に選択することができる。

【0075】

基本的動作は、第5の実施の形態と同一であるが、フォトダイオード31、36で検出している波長が断(故障)した場合、第5の実施の形態では、制御部7は適正な制御を行うことができなくなるが、第6の実施の形態では、駆動回路71、72を制御して、他の波長に切り替えモニタすることにより、制御部7は、継続して、適正な制御を行うことができる。

また、本発明は、次のような実施の態様を有する。

【0076】

(付記1) 波長多重光信号の光増幅装置において、当該光増幅装置内に、光量を測定する測定点を設け、該測定点における特定波長を測定する特定波長測定手段と、該測定点における全光量を測定する全光量測定手段と、当該光増幅装置の出力を制御する出力制御手段とを有し、前記特定波長測定手段で測定した出力と前記全光量測定手段で測定した出力とに基づいて、前記出力制御手段が当該光増幅装置の出力を制御することを特徴とする光増幅装置。

【0077】

(付記2) 前記特定波長測定手段は、波長可変光フィルタを有することを特徴とする付記1記載の光増幅装置。

【0078】

(付記3) 当該光増幅装置における入力側、中間段又は出力側に、前記測定点を設け、前記特定波長測定手段で測定した出力に変動が無く、前記全光量測定手段で測定した出力に変動が発生した場合、前記特定波長測定手段で測定した出力と前記全光量測定手段で測定した出力に基づいて、受信した波長多重光信号の波長多重数を検出することを特徴とする付記1又は2記載の光増幅装置。

【0079】

(付記4) 前記特定波長測定手段における出力の変動と前記全光量測定手段における出力の変動とが同じ量だけ変動した場合、前記特定波長測定手段で測定した出力又は前記全光量測定手段で測定した出力とに基づいて、光

伝送路における減衰量の変動を補償するように、前記出力制御手段が当該光増幅装置の出力を制御することを特徴とする付記1ないし3いずれか一項記載の光増幅装置。

【0080】

(付記5) 当該光増幅装置における出力側に、測定点を設け、波長多重数データ並びに前記特定波長測定手段で測定した出力及び前記全光量測定手段で測定した出力に基づいて、光出力信号の利得傾斜を補償するように、前記出力制御手段が当該光増幅装置の出力を制御することを特徴とする付記1又は2記載の光増幅装置。

【0081】

(付記6) 波長多重光信号の光増幅装置における受信した波長多重光信号の波長多重数の変動を検出する方法において、

当該光増幅装置における入力側、中間段又は出力側に、測定点を設け、

該測定点における特定波長を測定する特定波長測定ステップと、該測定点における全光量を測定する全光量測定ステップとを有し、

前記特定波長測定ステップで測定した出力に変動が無く、前記全光量測定ステップで測定した出力に変動が発生した場合、

前記特定波長測定ステップで測定した出力と前記全光量測定ステップで測定した出力に基づいて、受信した波長多重光信号の波長多重数の変動を検出することを特徴とする波長多重数の変動を検出する方法。

【0082】

(付記7) 波長多重光信号の光増幅装置における受信した波長多重光信号のレベル変動を検出する方法において、

当該光増幅装置内に測定点を設け、

該測定点における特定波長を測定する特定波長測定ステップと、該測定点における全光量を測定する全光量測定ステップとを有し、

前記特定波長測定ステップで測定した出力変動と、前記全光量測定ステップで測定した出力変動とが同一の場合、前記特定波長測定ステップで測定した出力変動又は前記全光量測定ステップで測定した出力変動に基づいて、受信した波長多重光信号の光伝送路における減衰量の変動を検出することを特徴とするレベル変動を検出する方法。

【0083】

(付記8) 波長多重光信号の光増幅装置における受信した波長多重光信号の信号を処理する信号処理方法において、

当該光増幅装置内に測定点を設け、

該測定点における特定波長を測定する特定波長測定ステップと、該測定点における全光量を測定する全光量測定

ステップとを有し、
前記特定波長測定ステップで測定した出力変動と、前記全光量測定ステップで測定した出力変動とが同一の場合、前記特定波長測定ステップで測定した出力変動又は前記全光量測定ステップで測定した出力変動に基づいて、受信した波長多重光信号の光伝送路における減衰量の変動を検出し、
前記特定波長測定ステップで測定した出力に変動が無く、前記全光量測定ステップで測定した出力に変動が発生した場合、前記特定波長測定ステップで測定した出力と前記全光量測定ステップで測定した出力に基づいて、受信した波長多重光信号の波長多重数の変動を検出すること特徴とする信号処理方法。

【0084】

【発明の効果】

上述の如く本発明によれば、信号光の変動に基づいて、波長数変動又は信号光の利得傾斜を検出して、出力レベルを制御する光増幅装置を提供することができる。

【0085】

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の光増幅装置の例を説明するための図である。

【図2】光信号入力端子に供給される波長多重光信号の例を説明するための図である。

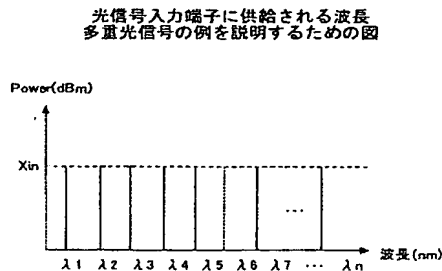
【図3】フォトダイオードで検出される信号光（波長 λ_1 ～波長 λ_n ）のトータルパワーを説明するための図である。

【図4】自動レベル制御を説明するための図である。

【図5】波長数に応じた出力レベルでない場合を説明するための図である。

【図6】MAX波長数で平坦な利得傾斜度を得ている場合を説明するための図である。

【図2】



【図7】maxの以下の波長数にために、利得傾斜を有する場合を説明するための図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態を説明するための図である。

【図9】波長数の算出の処理フローを説明するための図である。

【図10】本発明の第2の実施の形態を説明するための図である。

【図11】利得傾斜度を平坦にする処理フローを説明するための図である。

【図12】利得傾斜度を平坦にする処理を説明するための回路ブロック図である。

【図13】本発明の第3の実施の形態を説明するための図である。

【図14】本発明の第4の実施の形態を説明するための図である。

【図15】本発明の第5の実施の形態を説明するための図である。

【図16】本発明の第6の実施の形態を説明するための図である。

【符号の説明】

1、2 光増幅部

3、4 EDFA

5 利得等化器

6 可変光減衰器

7 制御部

11～16 光分光器

21、22 励起光源であるレーザダイオード

31～36 フォトダイオード

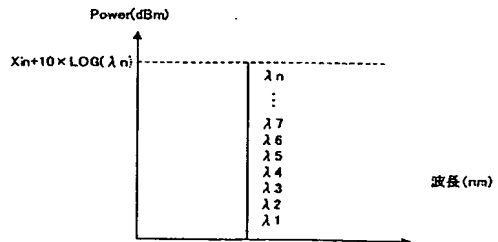
41、42 波長合波器

61、62 可変光フィルタ

71、72 駆動回路

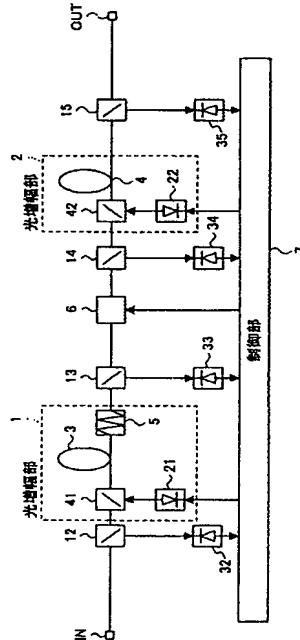
【図3】

フォトダイオードで検出される信号光（波長 λ_1 ～波長 λ_n ）のトータルパワーを説明するための図



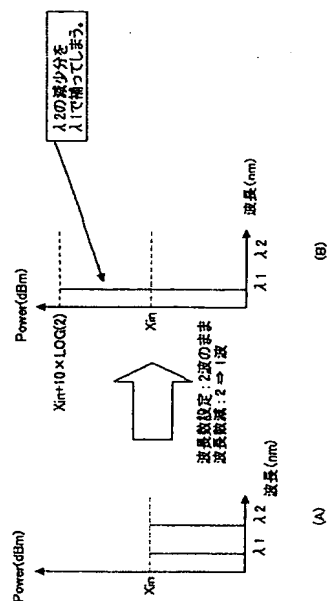
【図1】

従来の光増幅装置の例を説明するための図



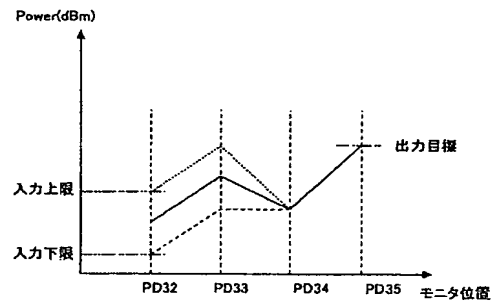
【図5】

波長数に応じた出力レベルでない場合を説明するための図



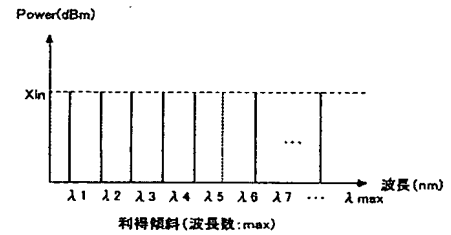
【図4】

自動レベル制御を説明するための図



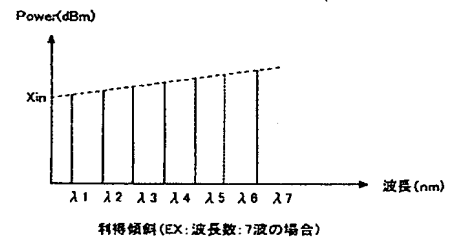
【図6】

MAX波長数で平坦な利得傾斜度を得ている場合を説明するための図



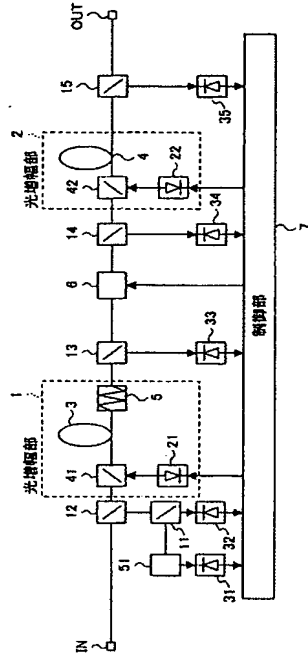
【図7】

maxの以下の波長数にために、利得傾斜を有する場合を説明するための図



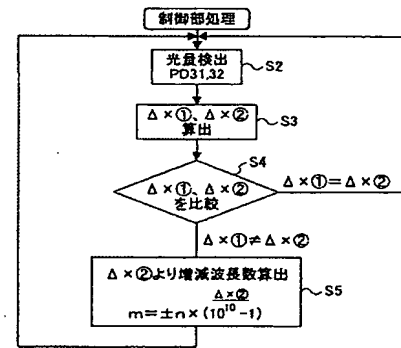
【図 8】

本発明の第1の実施の形態を説明するための図



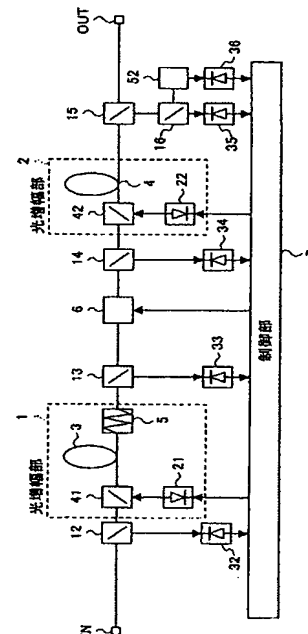
【図 9】

波長数の算出の処理フローを説明するための図



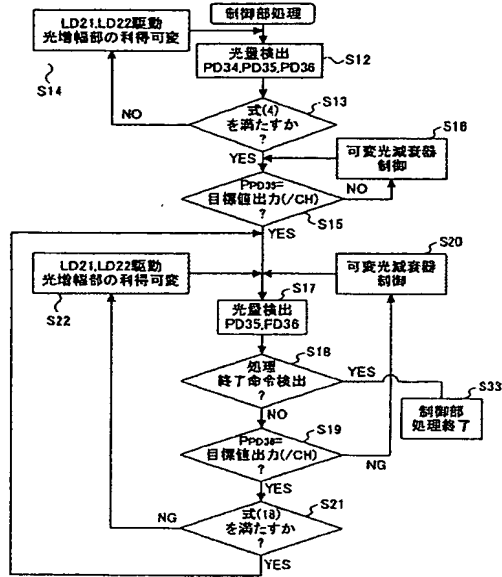
【図 10】

本発明の第2の実施の形態を説明するための図



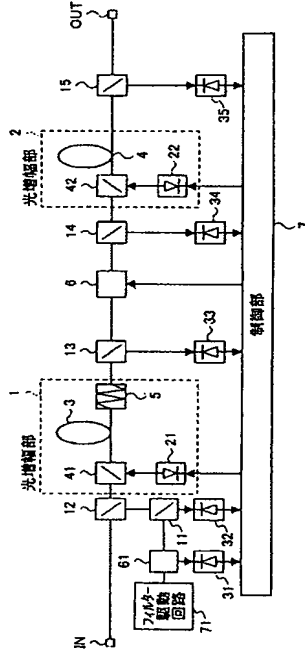
【図 11】

利得傾斜度を平坦にする処理フローを説明するための図



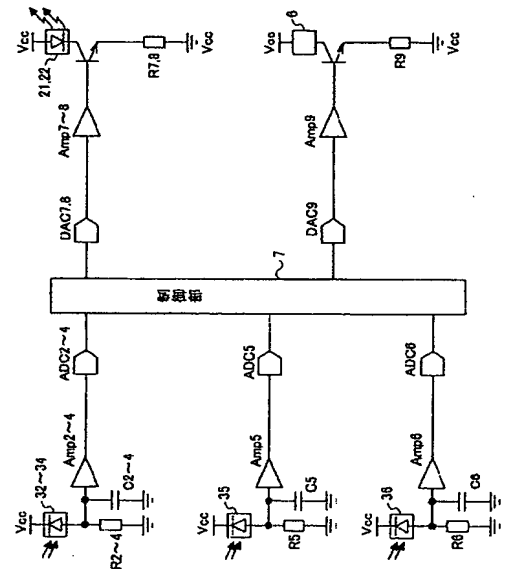
【図 13】

本発明の第3の実施の形態を説明するための図



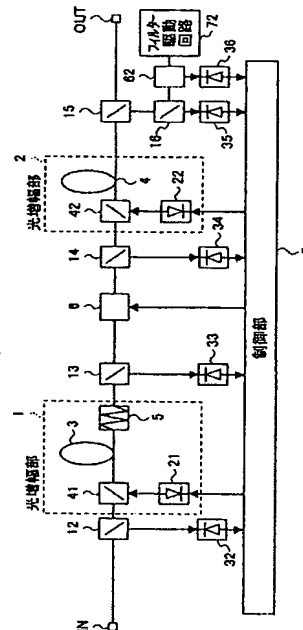
【図 12】

利得傾斜度を平坦にする処理を説明するための回路ブロック図



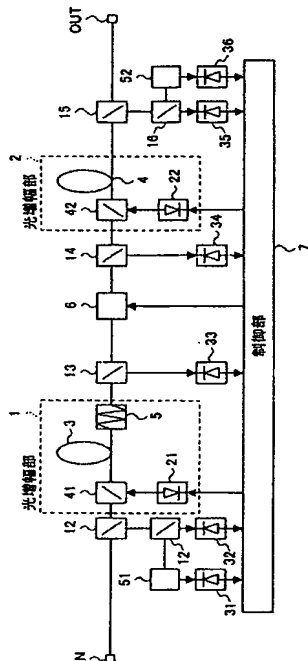
【図 14】

本発明の第4の実施の形態を説明するための図



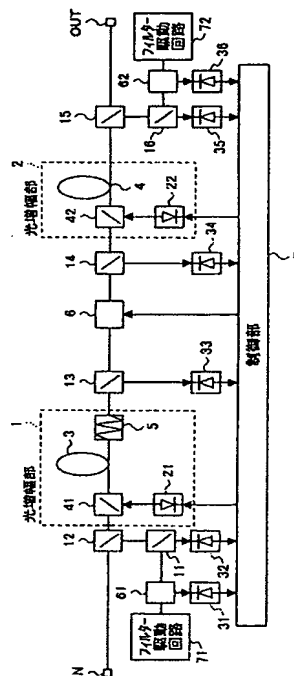
【図15】

本発明の第5の実施の形態を説明するための図



【図16】

本発明の第6の実施の形態を説明するための図



フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 洋之

北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1 富士通東日本デジタル・テクノロジー株式会社内

Fターム(参考) 5F072 AB09 AK06 HH02 JJ05 KK30 PP07 YY17

5K102 AA01 AA46 AA53 AA55 AD01 KA12 KA44 LA07 LA14 MA03

MB05 MC14 MC15 MD01 MH04 MH12 MH22 PB01 PC12 PH13

PH31 PH42 PH47 PH48 RB03